

**PENGARUH LIMBAH BETON DAN MARMER PADA CAMPURAN
ASPAL PORUS DENGAN BAHAN TAMBAHAN GILSONITE**

**NASKAH PUBLIKASI
TEKNIK SIPIL**

**Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**



Disusun oleh :

ANDRIYAS SUSANTO

NIM. 105060100111063

SUKMA PRIYA SAYEKTI

NIM. 105060107111030

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2016**

PENGARUH LIMBAH BETON DAN MARMER PADA CAMPURAN ASPAL PORUS DENGAN BAHAN TAMBAHAN GILSONITE

Andriyas Susanto, Sukma Priya Sayekti, M. Zainul Arifin, Hendi Bowoputro

Jurusan Teknik Sipil – Fakultas Teknik – Universitas Brawijaya

Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Jawa Timur, Indonesia

E-mail : andriyas_poka@yahoo.com , sukma.priya@yahoo.com

ABSTRAK

Aspal porus merupakan campuran perkerasan yang didesain mempunyai porositas tinggi dibanding dengan jenis perkerasan lain. Umumnya aspal porus memiliki stabilitas *Marshall* yang rendah, karena menggunakan campuran dengan sedikit agregat halus. Pada penelitian ini digunakan limbah beton dan marmer sebagai agregat kasar dan halus untuk campuran aspal porus juga ditambahkan Gilsonite untuk meningkatkan nilai stabilitas pada campuran perkerasan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui komposisi optimum agregat kasar pada campuran aspal porus dan kadar aspal optimumnya. Setelah itu dilakukan penelitian tahap selanjutnya untuk mendapatkan pengaruh penambahan Gilsonite terhadap karakteristik *Marshall* dan kadar optimum Gilsonitenya.

Pada penelitian ini Perlakuan yang digunakan yaitu dengan membuat campuran aspal perkerasan dengan variasi persentase proporsi agregat kasar 100/0, 80/20, 60/40, 40/60, 20/80, 0/100 (batu pecah/limbah beton) menggunakan aspal pen 60/70. Kemudian campuran dicampur dan dipadatkan pada suhu 140 - 160⁰ sesuai standar Bina Marga untuk campuran aspal panas. Setelah itu ditumbuk pada masing-masing sisi atas dan bawah sebanyak 50 kali. Pengujian selanjutnya adalah uji *Falling Head* sesuai ASTM untuk mengetahui tingkat permeabilitas campuran aspal dan uji *Marshall* dengan metode sesuai dengan standar Bina Marga. Setelah didapat KAO, maka dilakukan pembuatan benda uji tahap kedua dengan variasi bahan tambahan Gilsonite sebesar 8%, 9%, dan 10% dari berat aspal.

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah KAO dari masing-masing komposisi limbah beton sebagai agregat kasar pada campuran aspal porus. Kemudian dipilih KAO dengan mempertimbangkan hasil karakteristik *Marshall* yang terbaik menggunakan metode grafik pita dan 3D. Dari kedua metode tersebut didapatkan hasil campuran optimum dengan menggunakan komposisi 0/100 (batu pecah/limbah beton) dengan KAO 5,433%. Selanjutnya dilakukan pembuatan benda uji tahap dua dengan penambahan Gilsonite dengan menggunakan komposisi campuran agregat kasar maksimum dan KAO yang telah didapat. Dari pengujian tahap kedua didapatkan hasil kadar Gilsonite optimum sebesar 9% dari berat aspal. Dengan penambahan Gilsonite HMA *Modifier Grade*, mampu mempengaruhi peningkatan nilai VIM sebesar 4,417% dan nilai stabilitas sebesar 16,863%. Hasil tersebut memenuhi standar Australia sebagai acuan nilai karakteristik *Marshall* aspal porus pada penelitian ini. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan standar gradasi lain atau penambahan zat *additive* lainnya untuk memperoleh spesifikasi yang lebih baik.

Kata kunci : aspal porus, limbah beton, limbah marmer, gilsonite, VIM, stabilitas.

ABSTRACT

Porous asphalt pavement is a mixture that is designed to have high porosity compared with other types of pavement. Generally the porous asphalt has a low Marshall stability, because it uses a mix with a bit of fine aggregates. In this study, use of concrete and marble waste as coarse and fine aggregate for porous asphalt mixture is also added gilsonite to enhance the value of the stability of the mixture pavement. This study aims to determine the optimum composition of coarse aggregate in the mixture of porous asphalt and optimum asphalt binder content. Once that is done the next phase of research to get the effect of the addition of gilsonite against Marshall characteristics and optimum levels of gilsonite.

In this study, treatment used is by making a mixture of asphalt pavement with a variation of the percentage proportion of coarse aggregate 100/0, 80/20, 60/40, 40/60, 20/80 and 0/100 (crushed stone / concrete waste) using asphalt 60/70 penetration. Then the mixture is mixed and compacted at a temperature of 140-160 according to the standard of Highways for hot mix asphalt. After the ground on each side of the upper and lower 50 times. The next test is the appropriate test ASTM Falling Head to determine the level of permeability of asphalt mixtures and Marshall test method in accordance with the standards of Highways. Having obtained the optimum bitumen content, then the second stage of the manufacture of test specimens with a variety of additional materials Gilsonite by 8%, 9%, and 10% of the weight of the asphalt.

The results obtained from this study is the optimum bitumen content of each composition of the waste concrete as coarse aggregate in the mixture of porous asphalt. Then have the optimum bitumen content by considering the best results Marshall characteristics using contour graphs. From this method a mixture of coarse aggregate obtained optimum results using 0/100 composition (crushed stone / concrete waste) with optimum bitumen content was 5.433%. Furthermore, the manufacture of the specimen stage two with the addition of Gilsonite using optimum coarse aggregate mixture composition and the optimum bitumen content has been obtained. From the second phase of testing showed Gilsonite optimum level of 9% by weight of the asphalt. With the addition of Gilsonite HMA Modifier Grade, capable of affecting the increase in the value of VIM of 4.417% and the stability of 16.863%. These results meet Australian standards as reference values porous asphalt Marshall characteristics in this study. Next research needs to be carried out by using another grading standards or the addition of other additives to obtain a better specification.

Keywords : porous asphalt, concrete waste, marble waste, Gilsonite, VIM, stability.

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan Negara maritim beriklim tropis dan memiliki curah hujan yang tinggi. Tingginya curah hujan ini perlu dibuatkan suatu sistem drainase jalan yang secara efektif dapat mengalirkan atau membuang air dari lapisan jalan. Hal tersebut dikarenakan genangan air di jalan sering kali menimbulkan kerusakan pada jalan khususnya pada lapisan aspal.

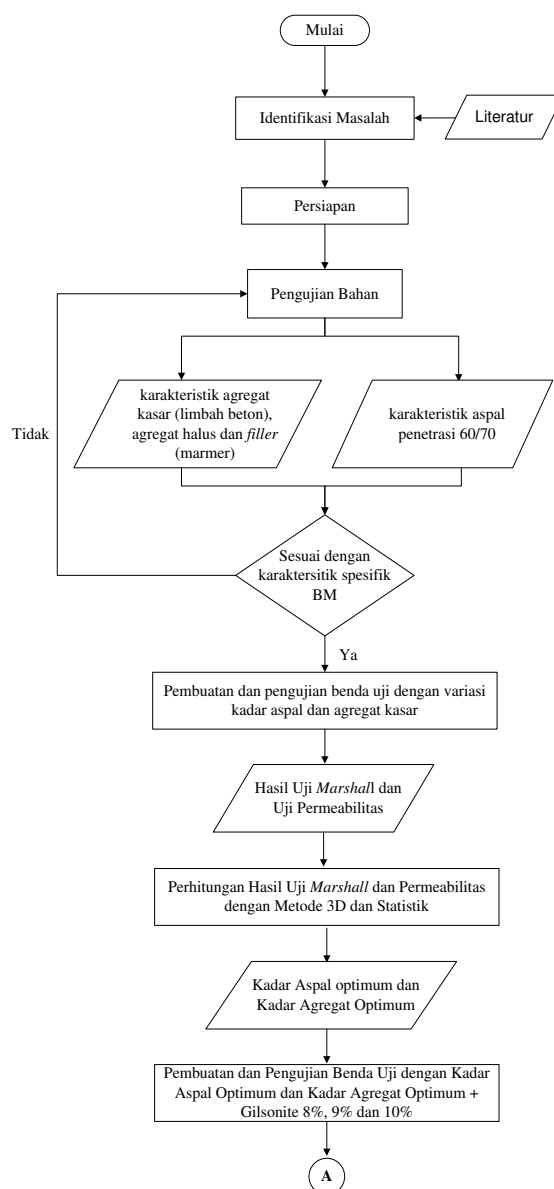
Mengenai masalah penyebab terjadinya kerusakan jalan di atas, diperlukan solusi bagaimana memilih penggunaan perkerasan jalan yang tepat dan sangat sesuai dengan kondisi tanah pada lokasi-lokasi tertentu. Penggunaan aspal porus dinilai bisa menjadi solusi dari permasalahan kondisi jalan di Indonesia. Meskipun aspal porus juga memiliki kekurangan yaitu memiliki stabilitas yang lebih rendah dari pada perkerasan konvensional.

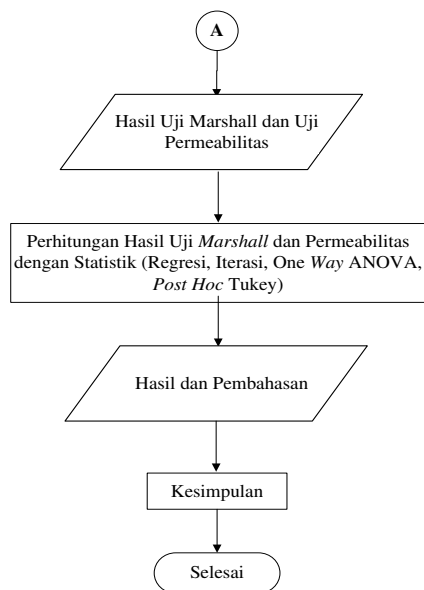
Aspal porus merupakan campuran aspal dengan proporsi agregat halus yang rendah untuk mendapatkan ruang pori yang tinggi. Dengan adanya ruang pori yang tinggi diharapkan air genangan yang ada di jalan dapat dialirkan lebih cepat melalui pori-pori menuju saluran drainase jalan. Perkerasan aspal porus memiliki permukaan yang kasar sehingga tingkat kekasatannya pun tinggi untuk menghindari slip pada roda kendaraan. aspal porus memiliki stabilitas yang rendah namun memiliki permeabilitas tinggi yang disebabkan oleh banyaknya rongga antar agregat. Perlu adanya modifikasi material dalam campuran yang diharapkan dapat mempengaruhi kinerja stabilitas dari aspal porus tanpa harus merubah gradasi agregatnya.

Pada penelitian ini menggunakan Limbah Beton dengan mutu 20 - 22,5 MPa sebagai agregat kasar dan Limbah Marmer sebagai agregat halus serta *filler*. Selain itu pada campuran juga ditambahkan bahan tambahan berupa Gilsonite HMA *Modifier Grade* yang

diharapkan dapat diperoleh hasil karakteristik *Marshall* yang lebih bagus. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) serta nilai komposisi campuran limbah beton optimum, untuk mengetahui kinerja campuran aspal porus menggunakan material limbah beton dan limbah marmer terhadap karakteristik *Marshall*, untuk mengetahui pengaruh Gilsonite sebagai bahan tambahan pada campuran aspal porus terhadap karakteristik *Marshall* dan permeabilitas, dan untuk mengetahui nilai kadar Gilsonite optimum.

2. METODE PENELITIAN





Gambar 2.1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini menggunakan gradasi standar Australia dengan metode perlakuan empat macam variasi kadar aspal 4%, 5%, 6%, dan 7%, enam proporsi agregat kasar limbah beton/batu pecah 100/0%, 80/20%, 60/40%, 40/60%, 20/80%, 0/100%, dengan tiga perlakuan untuk setiap perlakuan. Pembuatan benda uji digunakan untuk mencari kadar aspal optimum dengan beberapa variasi kadar aspal untuk mengetahui nilai VIM, VMA, Flow, MQ dan stabilitas dari masing-masing variasi.

Mengacu pada penelitian yang telah dilakukan dengan pemberian Gilsonite sebesar 9% dari kadar aspal optimum, penambahan Gilsonite berpengaruh signifikan terhadap peningkatan nilai stabilitas dan VIM pada campuran perkerasan Aspal Porus (Bangun dan Nugraha, 2014). Maka penelitian ini menggunakan penambahan kadar Gilsonite sebesar 8%, 9% dan 10% dari berat kadar aspal optimum. Berikut adalah tabel rancangan penelitian :

Tabel 2.1 Jumlah Benda Uji Dengan Variasi Kadar Aspal dan Variasi Proporsi Limbah Beton/Batu Pecah Pada Campuran Aspal Porus

Proporsi Agregat Kasar (limbah Beton/Batu Pecah)	Kadar Aspal			
	4%	5%	6%	7%
100/0	3 buah	3 buah	3 buah	3 buah
80/20	3 buah	3 buah	3 buah	3 buah
60/40	3 buah	3 buah	3 buah	3 buah
40/60	3 buah	3 buah	3 buah	3 buah
20/80	3 buah	3 buah	3 buah	3 buah
0/100	3 buah	3 buah	3 buah	3 buah

Setelah benda uji dibuat selanjutnya dilakukan pengujian permeabilitas dan pengujian Marshall standar untuk memperoleh nilai kadar aspal optimum dan kadar agregat kasar optimum dari proporsi limbah beton. Selanjutnya dilakukan pembuatan benda uji dengan kadar aspal optimum dan kadar agregat kasar optimum dengan penambahan Gilsonite. Jumlah benda uji yang digunakan dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 2.2 Jumlah Benda Uji dengan Variasi Kadar Gilsonite pada Campuran Aspal Porus

Kadar Gilsonite	Jumlah Benda Uji dengan Kadar Aspal Optimum dan Kadar Agregat Kasar Optimum
8%	3 buah
9%	3 buah
10%	3 buah

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengujian Material

3.1.1 Pengujian Karakteristik Aspal

Tabel 3.1 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal Pen 60/70

No.	Uraian	Unit	Spesifikasi*		Hasil	Keterangan
			Min.	Maks.		
1	Penetrasi	mm	65	68	66,33	Memenuhi
2	Titik Lembek	°C	48,5	49	48,75	Memenuhi
3	Daktilitas	mm	100	-	>1500	Memenuhi
4	Titik Nyala	°C	200	-	322	Memenuhi
5	Titik Bakar	°C	200	-	332	Memenuhi
6	Berat Jenis		1	-	1.034	Memenuhi

Sumber : Standar Bina Marga Untuk Agregat Pada Campuran Aspal Beton Panas

3.1.2 Pengujian Karakteristik Agregat

Tabel 3.2 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Kasar Batu Pecah

No.	Uraian	Unit	Spesifikasi*		Hasil	Keterangan
			Min	Maks		
1	Berat Jenis Curah	-	2.5	-	2.72	Memenuhi
2	Berat Jenis SSD	-	-	-	2.75	Memenuhi
3	Berat Jenis Semu	-	-	-	2.81	Memenuhi
4	Penyerapan Air	%	-	3	1.2	Memenuhi
5	Pengujian Los Angeles	%	-	40	12.45	Memenuhi
6	Nilai Tumbukan	%	-	30	12.46	Memenuhi

Sumber : Standar Bina Marga Untuk Agregat Pada Campuran Aspal Beton Panas

Tabel 3.3 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Kasar Limbah Beton Mutu 20 – 22,5 MPa

No.	Uraian	Unit	Spesifikasi*		Hasil	Keterangan
			Min	Maks		
1	Berat Jenis Curah	-	2.5	-	2.24	Tidak Memenuhi
2	Berat Jenis SSD	-	-	-	2.39	Memenuhi
3	Berat Jenis Semu	-	-	-	2.64	Memenuhi
4	Penyerapan Air	%	-	3	6.72	Tidak Memenuhi
5	Pengujian Los Angeles	%	-	40	37.38	Memenuhi
6	Nilai Tumbukan	%	-	30	28.83	Memenuhi

Sumber : Standar Bina Marga Untuk Agregat Pada Campuran Aspal Beton Panas

Tabel 3.4 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Halus Limbah Marmer

No.	Uraian	Unit	Spesifikasi*		Hasil	Keterangan
			Min	Maks		
1	Berat Jenis Curah	-	2.5	-	2.69	Memenuhi
2	Berat Jenis SSD	-	2.5	-	2.69	Memenuhi
3	Berat Jenis Semu	-	-	-	2.7	Memenuhi
4	Penyerapan Air	%	-	3	0.15	Memenuhi

Sumber : Standar Bina Marga Untuk Agregat Pada Campuran Aspal Beton Panas

3.2 Pembuatan Benda Uji Untuk Menentukan Nilai Kadar Aspal Optimum (KAO)

Pembuatan benda uji yang telah dirancang dengan variasi kadar aspal 4% - 7% seperti pada table 2.1. Berikut ini adalah hasil pengujian dari *Marshall* Standar yang telah dilakukan. Hasil pengujian *Marshall* untuk nilai VIM dan stabilitas :

Tabel 3.5 Nilai VIM (%)

Kadar Aspal (%)	Kadar Agregat Kasar Limbah Beton/Batu Pecah (%)					
	100/0	80/20	60/40	40/60	20/80	0/100
4%	26,293	26,269	24,440	25,320	22,957	20,273
	27,218	26,266	23,748	23,917	22,389	21,513
	25,923	30,731	26,213	28,358	21,576	43,118
	26,237	27,261	23,522	25,131	23,683	39,719
	24,799	26,389	28,689	23,069	24,957	41,664
5%	23,966	25,377	24,229	24,116	23,580	18,133
	18,674	26,337	21,747	23,462	18,583	16,484
	21,294	21,794	20,058	23,011	21,680	24,006
	24,493	23,798	20,790	22,490	22,689	18,890
	26,749	21,619	11,157	24,597	20,885	10,934
6%	21,112	20,147	17,738	19,132	17,881	14,669
	19,151	24,571	15,302	19,049	19,267	16,245
	21,812	24,428	18,459	20,682	18,353	14,844
	21,393	18,808	17,522	18,433	24,649	18,381
	20,823	28,982	19,507	21,029	16,215	14,515
7%	24,195	21,975	18,350	18,991	16,719	16,064
	20,811	19,409	16,242	16,139	16,931	14,985
	22,143	16,008	18,613	12,686	16,226	16,167
	20,043	18,614	17,675	17,592	12,799	15,915
	21,384	17,354	18,118	17,969	14,775	15,021

Sumber : Hasil Penelitian

Tabel 3.6 Nilai Stabilitas (kg)

Kadar Aspal (%)	Kadar Agregat Kasar Limbah Beton/Batu Pecah (%)					
	100/0	80/20	60/40	40/60	20/80	0/100
4%	509,674	631,025	436,864	533,944	606,755	364,053
	546,079	606,755	618,890	473,269	533,944	376,188
	582,485	594,62	606,755	558,214	485,404	400,458
	546,079	497,539	497,539	424,728	582,485	388,323
	861,592	533,944	594,620	521,809	643,160	424,728
5%	558,214	594,620	582,485	485,404	497,539	400,458
	655,295	473,269	533,944	448,999	594,620	412,593
	570,350	618,890	546,079	521,809	546,079	364,053
	533,944	594,620	631,025	533,944	485,404	376,188
	594,620	521,809	533,944	436,864	473,269	461,134
6%	594,620	582,485	618,890	606,755	339,783	485,404
	582,485	546,079	546,079	546,079	351,918	412,593
	509,674	606,755	412,593	461,134	497,539	497,539
	558,214	655,295	582,485	533,944	424,728	388,323
	582,485	606,755	643,160	509,674	412,593	473,269
7%	521,809	703,836	485,404	533,944	412,593	424,728
	606,755	752,376	546,079	594,620	388,323	473,269
	485,404	703,836	594,620	631,025	436,864	388,323
	558,214	788,781	606,755	546,079	400,458	400,458
	485,404	703,836	521,809	643,160	424,728	485,404

Sumber : Hasil Penelitian

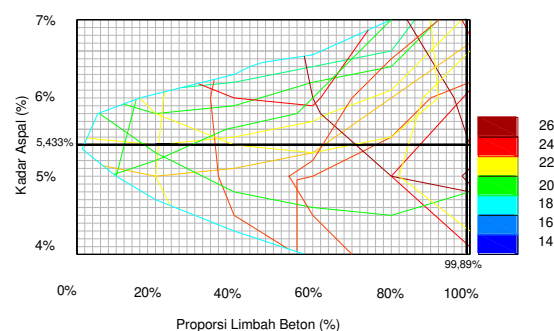
Selain hasil nilai VIM dan stabilitas, terdapat juga hasil pengujian *Marshall* untuk nilai *Flow* dan MQ.

3.3 Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Dari hasil pengujian *Marshall* diketahui nilai VIM, Stabilitas, *Flow*, dan MQ dari campuran yang digunakan. Pada umumnya Kadar Aspal Optimum (KAO) didapat dari nilai VMA, VIM, Stabilitas, *Flow*, dan MQ yang memenuhi syarat standar untuk campuran. Berdasarkan spesifikasi standar Australia tidak ada batasan terhadap nilai VMA sehingga dalam penentuan besarnya Kadar Aspal Optimum (KAO) hanya memperhitungkan nilai VIM, Stabilitas, *Flow* dan MQ.

Penentuan kadar aspal optimum ditentukan menggunakan gabungan dari grafik kontur setiap karakteristik *marshall* akan dicari luas daerah yang

memenuhi standar AAPA dan yang tidak. Selanjutnya dilakukan pemotongan luas daerah secara berurutan dari empat karakteristik *Marshall* yang tidak memenuhi standar AAPA. Dari luas daerah gabungan yang telah memenuhi standar AAPA, dapat dicari kadar aspal optimum dan kadar agregat optimum. Berikut adalah Proses penggabungan dan pemotongan luas daerah pada grafik kontur :



Gambar 3.1 Grafik Kontur Gabungan VIM, Stabilitas, *Flow* dan MQ Setelah dipotong

Setelah didapatkan grafik kontur gabungan VIM, Stabilitas, *Flow* dan MQ, selanjutnya dilakukan penentuan kadar aspal optimum dan kadar agregat optimum. Diambil nilai tengah dan potongan antar garis sehingga didapatkan besarnya kadar aspal optimum 5,433% dan agregat limbah beton optimum 99,89% dibulatkan 100%.

3.4 Analisa Statistik Pengaruh Limbah Beton Terhadap Campuran Aspal Porus

Berdasarkan dari data yang diperoleh dari penelitian untuk mengetahui adanya pengaruh atau perbedaan dari variabel yang digunakan pada penelitian ini, maka dilakukan perhitungan analisa statistik menggunakan analisis ANOVA dua arah.

Tabel 3.7 Rekapitulasi Dengan *Checklist* Analisis Statistik ANOVA Dua Arah

Pembanding	Variabel Tetap				
	VIM	Flow	Stabilitas	MQ	Permeabilitas
Proporsi Limbah Beton	-	-	√	√	√
Kadar Aspal	√	-	-	-	√
Interaksi Limbah Beton dan Kadar Aspal	√	√	√	√	√

Dari data rekapitulasi diatas dapat dilihat pengaruh dari proporsi limbah beton dan kadar aspal terhadap nilai VIM, stabilitas, *flow*, MQ, dan koefisien permeabilitas.

3.5 Pembuatan Benda Uji Berdasarkan Kadar Limbah Beton Optimum dengan KAO + Gilsonite

Setelah didapatkan kadar aspal dan kadar agregat optimum, dibuat beberapa benda uji dengan bahan tambahan Gilsonite. Pada penelitian ini digunakan variasi kadar aspal optimum sebesar 5,433%, kadar agregat optimum dengan persentase agregat kasar limbah beton 100% dan persentase bahan tambahan Gilsonite sebesar 8%, 9% dan 10%. Berikut adalah hasil pengujian

Marshall dengan KAO dan bahan tambahan Gilsonite :

Tabel 3.8 Hasil Uji Marshal Variasi Gilsonite

Kadar Aspal (%)	Proporsi Agregat Limbah Beton (%)	Kadar Gilsonite (%)	VIM (%)	Stabilitas (kg)	Flow	MQ
5,433	100	8	19,045	631,025	3,480	181,329
			23,869	696,895	4,060	171,649
			21,313	619,462	3,240	191,192
		9	22,626	691,701	3,200	216,156
			24,326	664,686	2,130	312,059
			21,555	687,607	2,840	242,115
		10	22,909	630,306	5,020	125,559
			25,77	550,085	3,080	178,599
			19,074	527,165	3,030	173,982

Sumber : Hasil Penelitian

3.6 Analisis Statistik Pengaruh Gilsonite Terhadap Campuran Aspal Porus

Berdasarkan dari data yang diperoleh dari penelitian untuk mengetahui adanya pengaruh atau perbedaan dari variabel yang digunakan pada penelitian ini, maka dilakukan perhitungan analisa statistik menggunakan analisis ANOVA satu arah. Dari analisis statistik yang dilakukan dengan menggunakan ANOVA Satu Arah didapat pengaruh dari nilai VIM, stabilitas, *flow*, MQ, dan koefisien permeabilitas dengan pembanding kadar gilsonite. Berikut adalah tabel hasil rekapitulasi :

Tabel 3.9 Rekapitulasi Dengan *Checklist* Analisis Statistik ANOVA Satu Arah Variasi Kadar Gilsonite

Pembanding	Variabel Tetap				
	VIM	Stabilitas	Flow	MQ	Koefisien Permeabilitas
Gilsonite	-	√	-	√	-

3.7 Pengujian Permeabilitas

Dalam penelitian ini selain dilakukan pengujian karakteristik *Marshall* juga diuji kemampuan permeabilitasnya. Pengujian kemampuan permeabilitas dilakukan untuk mengetahui kemampuan campuran aspal porus dalam mengalirkan air hujan kedalam tanah tanpa menyebabkan genangan pada permukaan perkerasan.

Pengujian permeabilitas dalam penelitian ini menggunakan metode “*Falling Head*”. Berikut adalah rata-rata hasil perhitungan koefisien permeabilitas (k) sebelum penambahan Gilsonite :

Tabel 3.10 Hasil Uji Permeabilitas (cm/s)

Kadar Aspal (%)	Kadar Agregat Kasar Limbah Beton/Batu Pecah (%)					
	100/0	80/20	60/40	40/60	20/80	0/100
4%	0,156	0,421	0,129	0,141	0,131	0,066
5%	0,138	0,369	0,112	0,114	0,121	0,039
6%	0,116	0,118	0,074	0,105	0,064	0,037
7%	0,109	0,060	0,064	0,033	0,016	0,029

Sumber : Hasil Penelitian

Berikut adalah rata-rata hasil perhitungan koefisien permeabilitas (k) setelah penambahan Gilsonite :

Tabel 3.11 Hasil uji permeabilitas dengan bahan tambahan Gilsonite

Komposisi Agregat Limbah Beton/Batu Pecah (%)	Kadar Gilsonite	k (cm/s)
100/0	8%	0,153
	9%	0,127
	10%	0,171

Sumber : Hasil Penelitian

Dari hasil penelitian didapatkan batas kecepatan infiltrasi serta letak kecepatan rata-rata dari campuran aspal porus dengan KAO dan limbah beton optimum dan kadar Gilsonite 9% (optimum) adalah sebesar 0,127 cm/det. Hasil tersebut memenuhi syarat standar Australia > 0,1 cm/det.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

- Nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) yang diperoleh adalah sebesar 5,433%.
- Nilai proporsi campuran agregat kasar optimum antara limbah beton dengan batu pecah adalah 100% batu pecah dan 0% limbah beton dengan

Kadar Aspal Optimum (KAO) sebesar 5,433%.

- Pemakaian limbah beton sebagai agregat kasar dan limbah marmer sebagai agregat halus serta *filler* pada aspal porus standar Australia mempengaruhi nilai VIM dan Stabilitas.
- Penambahan Gilsonite pada aspal porus standar Australia mempengaruhi nilai karakteristik *Marshall* VIM, Stabilitas, *Flow* dan MQ hasil analisis statistik.
- Penambahan Gilsonite berpengaruh signifikan terhadap nilai koefisien permeabilitas perkerasan Aspal Porus.
- Nilai kadar Gilsonite optimum yang didapatkan pada campuran aspal porus adalah sebesar 9%.

4.2 Saran

Beberapa saran yang dapat disampaikan untuk lebih menyempurnakan penelitian selanjutnya antara lain :

- Penelitian hanya dapat dilakukan di tempat yang tersedia limbah beton dan marmer dalam jumlah banyak, karena jika dilakukan di tempat yang tidak tersedia limbah beton dan marmer akan menimbulkan penambahan biaya untuk transportasi.
- Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan variasi material dengan standar gradasi lain, karena gradasi Australia ini masih banyak menggunakan agregat halus dan *filler* dalam komposisi campuran.
- Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan penambahan jenis zat aditif lainnya yang memiliki spesifikasi khusus untuk aspal porus maupun jenis perkerasan lain yang dapat meningkatkan nilai stabilitas agar didapatkan spesifikasi yang lebih baik lagi.

- d. Pada penelitian selanjutnya perlu dicari nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) ketika aspal sudah dicampur dengan Gilsonite. Karena pada penelitian ini KAO didapat sebelum aspal dicampur dengan Gilsonite.
- e. Pada penelitian ini tidak mencari ikatan kimia, sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mencari bagaimana pengaruh ikatan kimia limbah beton dan marmer dengan aspal.

DAFTAR PUSTAKA

- Altman, Douglas A.(Editor). 2000. *Statistics with Confidence*. London : BMJ Publishing Group.
- Anonim. 1976. *Manual Pemeriksaan Bahan*. Jakarta : Departemen Pekerjaan Umum Bina Marga.
- Australian Asphalt Pavement Association. 2004. *National Asphalt Specification*.
- Bardesi A. dan Brule B. 1999. *Use of Modified Bituminous Binders, Special Bitumens and Bitumens with Additive in Road Pavements*. World Road Association
- Bina Marga. 2010. *Spesifikasi Umum Campuran Beraspal Panas*.
- Bruce. K.F. 2005. *Porous Pavement*. CRC PRESS. United States of America
- Cabrera, J.G. and Hamzah, M.O. 1996. *Over Compaction Behaviour of Porous Asphalt*. Euro Bitument Congress. Netherlands.
- Cahyaningtyas, S. dan Pratiwi, S. 2013. *Pengaruh Variasi Gradasi Aspal Porus Terhadap Tingkat Permeabilitas dan Karakteristik Marshall Menggunakan Material Batu Pecah*. Malang : Universitas Brawijaya. Skripsi
- Dewisari, O.N. 2005. *Penggunaan Limbah Pecahan Marmer Tulungagung Sebagai Alternatif Bahan Agregat Halus dan Filler Pada Campuran Lapis Aspal Beton*. Malang : Universitas Brawijaya. Skripsi
- Guzma, R. dan Kurniyah, I. 2008. *Pengaruh Proporsi Abu Marmer Dengan Semen Sebagai Filler Terhadap Karakteristik Campuran dan Indeks Kekuatan Sisa (IKS) Pada Lapis Aspal Beton (Laston) Dengan Agregat Limbah Marmer*. Malang : Universitas Brawijaya. Skripsi
- Krebs, R.D dan Walker, R.D. 1971. *Highway Materials*. McGraw-Hill Book Company. New York, USA.
- O'Flaherty, Emeritus C.A., et al. 2002. *Highways : The Location, Design, Construction and Maintenance of Road Pavements*. Edisi keempat. Malta : Butterworth Heinemann.
- Ogenta, N.P. dan Prawiro, B. 2014. *Pengaruh Penggunaan Limbah Beton Sebagai Agregat Kasar Pada Campuran Aspal Porus Dengan Tambahan Gilsonite*. Malang : Universitas Brawijaya. Skripsi
- Press, Frank dan Raymond Siever. 1998. *Understanding Earth*. Edisi kedua. New York : W. H. Freeman and Company
- Putri, F. dan Ariyanti, F. 2013. *Evaluasi Kinerja Aspal Porus Menggunakan Spesifikasi Gradasi dari Australia (AAPA), California (CaLAPA), dan British (BS)*. Malang : Universitas Brawijaya. Skripsi
- Ramadhan, M.I. dan Aziz, M.A. 2013. *Pengaruh Penggunaan Piropilit Sebagai Bahan Campuran Agregat Kasar Pada Aspal Porus Standar Australia (AAPA)*. Malang : Universitas Brawijaya. Skripsi
- Ramadhan,N. dan Burhan, R.R. 2014. *Pengaruh Penambahan Additive Gilsonite HMA Modified Grade Terhadap Kinerja Aspal Porus*. Malang : Universitas Brawijaya. Skripsi
- Santoso, Singgih. 2014. *SPSS 20 Pengolah Data Statistik di Era*

- Informasi*. Jakarta: PT. Elex Komputindo6
- Siregar, Syofian. 2015. *Statistika Terapan Untuk Perguruan Tinggi*. Jakarta : Kencana Prenada Media Group.
- Soedarsono, Djoko Untung. 1987. *Konstruksi Jalan Raya*. Cetakan keempat. Jakarta : Badan Penerbit Pekerjaan Umum.
- Sukirman, Silvia. 2003. *Beton Aspal Campuran Panas*. Jakarta : Yayasan Obor Indonesia
- Takahashi, Shigekhi & Partl, Manfred. 1999. *Improvement of Mix Design For Porous Asphalt*. EMPA Uberlandstrasse 129 CH-8600 Dubendorf, Switzerland.